

天气风险管理理论及实践进展

赵艳霞^{1,2} 陈思宁^{1,2}

(1 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2 气象风险与保险联合开放实验室, 北京 100081)

摘要: 从天气风险的概念、分类、特点、管理策略及管理措施等方面对相关理论进行了梳理, 深入介绍了两种典型的天气风险管理产品——天气指数保险和天气衍生品的联系与区别及其在国内外的的发展进程, 同时, 辅以典型案例对两种产品的设计及使用进行了详细说明。详细总结了气象科技在天气风险管理中的作用: 1) 不断完善的气象观测网络为天气风险管理提供了坚实的数据基础; 2) 气象可以为天气风险管理提供不同时空尺度的天气预报信息; 3) 气象可以为天气风险管理提供多元化的气象信息服务产品; 4) 气象可以支撑天气风险管理产品技术研发。最后, 进一步指出应促进气象部门与不同行业的深化合作, 开发专业化的天气风险管理产品, 为各行各业有效规避天气风险及良性发展赋能。

关键词: 天气风险管理, 天气指数保险, 天气衍生品

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.02.004

Progress in the Theory of Weather Risk Management and Its Practice

Zhao Yanxia^{1,2}, Chen Sining^{1,2}

(1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 Joint Open Laboratory of Meteorological Risk and Insurance, Beijing 100081)

Abstract: This paper summarizes weather risk theories from the perspectives of concept, classification, characteristics, management strategies and management measures. It also introduces the relationship and differences between two typical weather risk management products-weather index insurance and weather derivatives as well as their development at home and abroad. At the same time, the design and utilization of the two products are explained in detail with typical cases. Furthermore, the role of meteorological technology in weather risk management is elaborated as follows: (1) The constantly improving meteorological observation network provides a solid data base for weather risk management; (2) weather forecast information of different time and space scales is available for weather risk management; (3) diversified products of meteorological information services are offered for weather risk management; (4) the research and development of weather risk management products are supported by meteorological technology. Finally, for effectively avoiding weather risks and for benign development, it is necessary to promote the cooperation between meteorological departments and different industries and develop specialized weather risk management products.

Keywords: weather risk management, weather index insurance, weather derivatives

0 引言

风险是指在某一特定时期或环境内, 人们希望实现的目标和实际产生的结果间的偏差, 即产生某种损失的可能性^[1]。天气风险通常用来表达经济体遭受异常天气事件侵袭的可能性, 这种侵袭是非灾难性的, 通常它影响的是经济体的收益而非财产^[2]。为降低与天气问题相关的经济损失, 对天气风险必须进行有效管理。统计数据表明, 全球每年约有超过70%的公司遭受天气风险的危害^[3]。美国有约25%的国内

生产总值(GDP)相关产业会遭受天气条件变化的危害, 其直接影响约占10%, 每年由于天气风险因素使企业所蒙受的直接经济损失超过2.2万亿元。我国天气灾害造成的经济损失约占所有自然灾害造成总损失的70%以上, 每年由于天气灾害造成的经济损失约占GDP的1%~3%, 受重大天气灾害影响的人口达4亿人次, 因天气灾害造成的农作物受灾面积积达5000万 hm^2 (1 $\text{hm}^2=10000 \text{m}^2$, 下同)^[4-5]。联合国减少灾害风险办公室近期发布题为《减少灾害风险全球评估报告2022》的报告表明, 由于气候变化和人类行为等因素, 全球灾害数量快速攀升, 过去20年间全球每年发生大中型灾害350~500次; 预计到2030年全球大中型灾害的发生频率将达每年560次, 日均1.5次。过去10年间,

收稿日期: 2023年1月16日; 修回日期: 2023年2月7日

第一作者: 赵艳霞(1968—), Email: zhaoyanxia@cma.gov.cn

资助信息: 国家重点研发计划(2019YFD1002201); 中国气象科学研究院基本科研业务费专项(2021Z010)

全球灾害造成的损失平均每年达1700亿美元，受冲击最严重的是发展中国家。联合国常务副秘书长阿明娜·穆罕默德呼吁各方携手应对全球灾害风险，降低可预防灾害的发生率。

1 天气风险导论

1.1 天气风险的概念

天气风险是天气的不确定性变化导致商品的生产成本和市场需求的明显变化，给经济主体带来现金流和利润的变化的可能性，如温度、降水、日照、大风等日常天气变动，给企业主体的财务绩效、股票价格和利润等带来的不良影响，还有一些非正常天气条件，如狂风、暴雪、台风和龙卷等带来的灾害性影响，使得企业主体的最终利润出现了较大风险^[6-7]。因此，在天气市场的背景下，天气风险被定义为一个实体（个人、政府或公司）对可观测的天气事件或可测量的天气变化的财务风险造成财产损失或利润损失的指数。因为这些风险都能够使用实际可观测到的气候事件或气象指标来评估，从而能够把这些风险由客户产品转化到有兴趣以天气风险的形式承担这些风险的组织管理产品。天气风险管理产品是指以天气风险为对象的一个资产管理方案，更具体地说，天气风险管理产品也可能是保险产品或者衍生商品^[1]，而这两种工具的特点涉及监管、会计、税务和法律方面的不同问题，但风险转移的特点和收益是相似的。

2013年，世界气象组织（WMO）为了实施和持续改进风险管理，构建了WMO风险管理框架（WMO Risk Management Framework），通过框架给出了风险管理的程序和结构。该框架与该组织的战略目标以及WMO公约的原则保持一致，其核心要素包括了建立风险理念、促进风险意识、开展风险评估（风险定义、分析和评价）、实施风险管理、风险信息交流、培训、风险成熟度以及风险监控与审查等。

1.2 天气风险的分类

天气风险按成因可分为灾害性天气风险、一般天气风险与气候变化风险^[8]。

灾害性天气风险是指出现可能引发财产损失和危害人民安全的灾害天气（如地震、暴雨、龙卷、飓风等）的可能性，其发生概率远低于其他两类风险，但所造成的生命及经济损失却是最严重的^[9]。对于灾害性天气风险，人们最开始运用的工具是保险，且仅由一家保险公司单独承担的保险，但由于这样操作的风险过大，于是就有了再保险公司的加入。然而，随着近年来巨灾出现的频率增加、程度加深，保险公司难以承担，因此人们又把目光转向了资本市场，证券化

的保险产品应运而生^[10]。

一般天气风险又称为非灾害性天气风险，主要是指一般（非灾害性）天气变化带来的风险，其出现的可能性比灾害性天气风险更小^[11]。气温、降雨、大风、冰雹、雪、雾等这些常见的天气事件就是所谓的一般天气，它们并未造成直接或严重的经济损失，却常常引起市场供需的巨大波动，进而间接地影响经济环境。针对概率大、损失小的天气事件的衍生品自20世纪90年代末在美国出现以来，市场发展迅猛。芝加哥商品交易所（Chicago Mercantile Exchange, CME）的天气衍生品合约从2000年仅成交了87笔到2006年合约交易量达80万笔^[12]。鉴于全球气候的多样性和复杂性，在讨论与天气有关的风险时很难一概而论。从天气状况变化的角度来看，有两种主要类型的风险需要考虑：1）突然发生、不可预见的事件（如暴雨、台风等）；2）长时间内发生的累积事件（如干旱）。

气候变化风险指因全球气候变化对地球大环境造成的负面效应日益显著，如高温、暴雨、干旱等极端天气条件造成的干旱化、沙漠化、水资源短缺或海平面上升加剧海岸带的淹没风险等，这将改变国家政策与战略方针的制定，因此对经济社会发展产生很大的不确定性^[13]。随着全球气候变暖，气候变化幅度加剧，企业收益的波动幅度也相应变大。

1.3 天气风险管理策略

首先意识到风险，然后对其进行评估，接下来的问题是处于风险中的一方（或多方）如何设法管理该风险。应注意的是，风险管理应在事前（即在事件实现之前）进行规划，一些事前计划（财务或其他）提供事后行动（如保险赔付和政府救济计划）。仅事后管理已出现的风险不被视为风险管理，毕竟，如果已经发生了某些事情，则不再是风险（尽管将来可能会再次发生）。关于风险管理这一主题有大量的文献，而且使用了大量不同的术语，本节主要介绍三种明确的风险管理策略^[14]，这三种策略也是农业风险管理中的关键战略。

减缓（mitigation）：减缓是指减轻或限制相关灾害的不利影响。风险减缓方案多种多样（如作物和牲畜多样化、收入多样化、土壤排水、覆盖、使用抗性种子、避免风险措施和作物日历等）。

转移（transfer）：转移是指将特定风险的潜在财务后果从一方转移到另一方。虽然保险是最著名的风险转移形式，但在发展中国家，在家庭和社区内使用非正式风险转移是极其重要的。

应对（coping）：应对是指通过事前准备和利用非

正式和正式的机制，提高抵御和管理事件的能力，以维持事件发生后的生产和生计。虽然我们注意到应对是一种事后活动，但可以事先计划和准备应对活动。这在财政上往往是有利的，因为快速应对事件的能力通常会减少损失。

1.4 天气风险管理措施

为降低与天气相关的不良影响，有必要对天气风险进行管理和监控。按照运作模式的不同，天气风险管理工具可分为天气衍生品、天气保险和证券化的天气产品^[15]。

1.4.1 天气衍生品转移非灾害性天气风险

天气衍生品是用来防范非灾害性天气风险给经济实体的财务状况和收益带来严重影响的金融工具，主要用于管理非灾害性天气风险^[15]。非灾害性天气状况一般不会直接对企业财产造成影响，而是在一段时间内逐渐影响企业的生产或销量，使相关企业在气候异常变化中遭遇了损失。天气衍生品合约通过灵活规定相关气象要素及支付标准，对非灾害性天气风险加以划分与整合，可有效的避免非灾害性天气对企业经济的不利影响。在天气衍生品的加持下，企业面对天气风险时能够主动、积极的管理或防御，进而降低非灾害性损失^[15-16]。

1.4.2 天气保险转移灾害性天气风险

天气保险是指投保人向可能遭受的灾害性天气为标的向保险公司投保，将灾害造成的可能的损失风险给保险公司。与天气衍生品相比，天气保险具有更大的灵活性和覆盖范围，保单可以被设计为各种模式来承保多种天气风险。如果保险标的使投保人遭受损失，保险公司就要向其赔偿^[17]。

1.4.3 证券化的天气产品将巨灾型天气风险经过重新组合转移给投资者并保障其利益

证券化天气产品通过向投资者发行巨灾型风险债券的形式保障其利益，若天气风险事件没有发生，投资者将获得本金返还及利息收入；反之，债券本金将用于补偿投保人的损失^[18-19]。

1.5 天气指数保险和天气衍生品的区别

天气衍生品和天气保险本质上都是金融衍生品^[20]，其区别在于：1) 管理天气风险的类型不同：管理发生频率低、高影响的灾害性天气风险通常使用天气保险；管理发生频率高、低影响的非灾害性天气风险应使用天气衍生品（表1）。2) 管理天气风险的机制不同：天气保险受商品交易法严格管制，而天气衍生品只要符合一定要求就可以不受商品交易法的管制。3) 理赔是否基于实际损失：天气衍生品的理赔是基于

天气指数而不管购买者是否真正遭受损失，若通过气象观测数据证实了合约上天气事件确实发生了，购买者即得到赔付；而天气保险是购买者必须遭受与灾害性天气有关的实际损失且能证明该损失属于保险合同中规定的保险责任，才可得到赔付^[21-26]。

表1 天气衍生品和保险在天气风险转移中的应用
Table 1 The application of weather derivatives and insurance in weather risk transfer

天气风险管理措施	天气风险类型	影响程度	发生频率
天气保险	灾害性天气风险	高	低
天气衍生品	非灾害性天气风险	低	高

2 天气指数保险

伴随着极端天气、气候事件强度、频率及其对社会经济负面影响的增强，人类对天气风险管理的需求在不断加大。传统的保险产品，由于核损赔付手续繁杂，经常引发法律纠纷，产品的规避风险效率较低，且以往的经验表明，政府灾后救助支持力度往往不够、保险赔付常常滞后^[27]。此外，在开展风险评估的基础上，确定了特定的天气风险并选择了相应的风险管理策略（如风险减缓、转移、应对等），仍发现传统的保险产品可能不是最合适的解决方案，因此，天气指数保险（Weather Index Insurance, WII）应运而生^[28]。

2.1 天气指数保险的概念

天气指数保险是将保险标的产量或损失与一个或者几个气象要素形成的指数（天气指数）结合起来，依据不同的指数等级进行赔付的保险形式^[29]。由于每个天气指数都会引发对应的保险标的物的损益情况，因此，可以通过天气指数的变化来判定生产者的损失，并根据保险条款写明的标准进行赔偿。它的基本原理是：如果农作物产量损失与灾害性天气条件相关性比较大，则以产量和气象历史数据为依据，通过统计方法，估计出天气指数与农作物产量和损失的统计关系，特别是在巨灾情况下，两者通常会有很强的相关性，因此，天气指数保险也是产量保险的一种类型。天气指数保险的赔偿是基于在预定时间段内特定气象站观测到的具体天气参数实现的，所以，天气指数保险不是以灾害性天气造成的实际损失作为保单的设计基础和理赔依据，而是基于灾害性天气事件与实际损失风险间的相互关系而确定的估计值^[30]。需要注意的是，天气指数不能百分之百地反映投保方的实际灾害损失，在使用指数保险产品时，保险公司及投保方都要面对基本风险，有可能发生投保人损失大但只能得到一小部分赔付，或投保人在没有损失时也能得到赔付的现象^[31]。赔偿金额是根据预先确定的每单位

指数的保险金额计算得出的。随着卫星遥感技术的发展,一些基于遥感数据反演获取的指数(如植被指数等)也被用作畜牧业遭受气象灾害的保险指数^[32]。也有将河流水位作为暴雨洪涝灾害保险指数的,这些都是天气指数的间接表达。

2.2 天气指数保险的优势

天气指数保险较传统的农业保险的优势主要表现在:降低道德风险,避免逆向选择,简化保险程序,增加了理赔透明度,减少了信息需求,降低经营成本、尤其是降低查勘定损的巨大成本,促进再保险,促进获得金融服务的机会等。

发展中国家的农业保险实践表明,在现有的农业生产技术水平下,气象灾害仍然是造成农业损失的主要原因之一^[33]。气象数据相对于农作物产量数据更易于获取,且比农作物产量数据具有更高的准确性。从成本角度看,建设一个高时空分辨率、高精度的气象观测网要比搭建一个可信的农作物产量观测体系成本更低。鉴于此,在发展中国家推广农业天气指数保险更容易取得良好的成效。

2.3 天气指数保险的发展

2.3.1 国外天气指数保险的发展

天气指数保险最初起源于天气衍生品市场,用于帮助企业在该市场对冲天气风险,本质上属于金融风险转移衍生品工具。1997年,天气指数保险产品最早开始在美国得到应用,随着需求的不断扩大,在日本、加拿大等发达国家也开展了广泛的实践,在亚洲、非洲和拉丁美洲的一些发展中国家也获得了较快的发展,除世界银行在全球范围内大力推动农业天气指数保险外,联合国世界粮食计划署(WFP)、国际农业发展基金(IFAD)等也积极推动天气指数保险在农业中的应用^[30],Skees等认为天气指数保险显著降低了农业保险的运营成本,并将逆向选择和道德风险最小化,对于缺乏高额补助的发展中国家来说,天气指数保险也被越来越多的研究学者和保险公司看成是传统农业保险更有效的替代品^①。2002年,发展中国家首个农业天气指数保险产品在墨西哥实施。2003年,印度商业保险公司开始销售天气指数保险产品^[34],作为亚洲第三大农险市场,印度目前有超过60%的农业保险采取天气指数保险的模式。迄今为止,许多发展中国家也研发了天气指数保险产品,如马拉维开发了专门用于花生栽培的天气指数保险可以帮助农户降低因旱灾所带来的产量损失,2006年在蒙古开展的大型家畜

巨灾指数保险可以协助牧民减轻因为严冬所造成的大规模家畜伤亡等。实践证明,天气指数保险更适合出售给中小农户甚至是独立的散户,而不必监控中、大型农场的整体损失^[35];另外,在鼓励农业投入、提高技术适应能力、平衡消费、全面改善被保险农村人口的基本利益和增强其弹性方面也具有积极影响^[36-38]。因此,天气指数保险在过去20年中得到了越来越多的关注。目前,发达国家的天气指数保险已发展的相对成熟,而在发展中国家,通常通过政府主导的项目研发并推广天气指数保险,并以不同形式得到大量政府补贴^[39-40]。目前,国际上天气指数保险市场正处于深化发展阶段,相关的研究正在进行。主要有如何克服指数保险缺陷的理论和方法、气象指数保险关键技术以及效果评估等方面的研究^[41-45]。

2.3.2 国内天气指数保险的发展

2007年,我国保险业开始逐步试点研发天气指数保险,安信农业保险公司的甜瓜梅雨强度指数保险项目以上海为试点进行了研发^[46]。2009年11月,在农业部、联合国世界粮食计划署(WFP)、国际农业发展基金(IFAD)的共同主导下,我国首款作物旱灾指数保险产品安徽省长丰县部分乡镇开展试点工作,这也标志着我国农业在天气指数保险上的实践正式开始^[30]。截至2009年,全国有许多地区已经进行了天气指数农业保险的试点工作,已开展的天气指数农业保险产品已逐渐涵盖了粮食作物、特色作物、瓜果蔬菜、烟草、水产等多种领域。另外,浙江气象部门研究了对水稻保险气象理赔指数并搭建了应用平台,而福建、陕西、河南也先后研发了台风气象灾害指数、苹果天气指数、小麦干旱指数等保险产品。我国天气指数农业保险工作基本已形成了由政府主导,气象、农业、保险等部门以及国际组织参与的局面,表明了我国天气指数保险已成为降低农业气象灾害风险、保障农民基本利益的重要手段^[47]。

2004—2022年的19个中央一号文件均对农业保险的全面发展提出了更新的要求。中央财政从2007年开始实施保费补贴,促进我国农业保险进入快速发展时期^[48]。2021年我国农业保险保费高达151.7亿美元,跃居全球第一。从发展趋势看,今后一段时间我国农业保险的保费将会在全球范围内一直领先。2014年8月,《国务院关于加快发展现代保险服务业的若干意见》——保险业“新国十条”明确提出了探索天气指数保险等是农业保险创新的方向。2022年的中央一号

① Skees J R, Hazel L E, Miranda M. A New Approaches to Crop Yield Insurance in Developing Countries. International Food Policy Research Institute, EPTD Discussion Paper No.55, November, 1999.

文件提出加强农业再保险体系建设。作为拥有巨大潜力的创新型险种，气象指数保险发展亟须提速。同年4月，中国人民大学中国普惠金融研究院（CAFI）发布了《发展农业气象指数保险，优化农村金融服务体系调研报告》^①。该报告指出，95%的农户曾因气象灾害受损，气象指数保险有助于农业生产的防灾减灾，极大地补充了农业金融服务体系。该报告是世界银行集团国际金融公司（IFC）数字农业气象指数保险项目（简称China WII）与合作伙伴的重要成果之一。该项目于2019年启动^②，为普惠金融助力乡村振兴提供了丰富的案例和富有成效的建议。

在天气指数农业保险实践的基础上，国内研究人员在农业保险风险区划、农业保险费率的厘定、天气指数保险产品设计与应用，以及关于克服天气指数保险“基差风险”问题等方面也有了一些尝试性的研究^[49-70]。

2.4 天气指数保险典型案例

2.4.1 国外天气指数保险案例

2.4.1.1 墨西哥天气指数保险产品

墨西哥政府通过指数保险的形式为该国的两种自然灾害救济基金（FONDEN和FAPACC）开展了再保险支持^[71]。FONDEN主要是为没有再保险支持的基建维修项目提供灾害救济资助，以及对低价收入受害者进行救助。FAPACC则是对由于旱灾、强降雨、洪涝、冰雹、霜冻以及大风等受到破坏的农业生产设施进行赔付，以协助农户恢复他们赖以维生的农业生产。通过指数保险为政府应急响应提供再保险，助力政府维持灾害救济的可持续性。墨西哥实施的气象指数保险计划针对洪涝和干旱两种灾害性天气事件，以不同作物在不同生长发育期的降雨量为触发值^[72]。鉴于作物种类、发育阶段以及所在地区不同，因此对应的触发值也不同。墨西哥指数保险以各州政府为推广对象，共计保障耕地面积达120万 hm²，保费总额达1700万美元^[73]。

2.4.1.2 印度天气指数保险产品

2007年开始，印度的“天气型作物保险计划”（WBCIS）为全国1300余万农户进行投保，保险范围涵盖各类气候风险，如干旱、洪涝、高温、高湿、大风等^[74-75]。WBCIS的保险区间是从作物的播种期到成熟期，即当年冬季10—11月播种到次年4月采收的部分作物。WBCIS依据区域方法（Area Approach），即在参考气象站附近一定地理区域选取参考单位区域作

为保险中风险承担和赔偿评估的同质保障单元，投保人在参考单位区域种植指定作物，每个投保人的保险条款和赔偿评估都是一致的，其中，参考气象站是指定的为保险赔偿评估提供天气数据的气象站。

2.4.2 国内天气指数保险案例

据不完全统计（截至2019年初），全国已有20多个省（自治区、直辖市）气象局开展农业保险气象服务，有19个省份形成了较完善的天气指数保险产品并进行推广应用，以浙江、安徽、内蒙古、江西等为代表（表2）。本节选取几个国内开展天气指数保险比较有代表性的省份的案例做简要介绍。

表2 天气指数保险标的、分布省份及主要影响因子
Table 2 Subjects, distribution provinces and main impact factors of index-based weather insurance

保险标的	分布省份	主要影响因子
玉米	山东、河北、黑龙江、安徽	干旱、低温、强降水
小麦	安徽、山东、江苏、河南	干热风、倒春寒、干旱
水稻	浙江、安徽、湖北、江西	高温
茶叶	浙江、安徽、江苏、江西	低温
小龙虾	湖北	高温、低温
羊群	内蒙古	雪灾、旱灾

2.4.2.1 浙江省天气指数保险产品

浙江气象部门在天气指数保险方面的研究起步较早，推广应用成果也较为成熟。重点开发了茶叶、柑橘、水稻、杨梅、枇杷、核桃等气象指数保险产品，并投放市场，基本解决了传统农业保险定价不科学、保障水平低、道德风险高、查勘定损及赔付成本高、时效低等弊病，避免了农户与保险公司甚至当地农业管理部门产生纠纷，促进了农户灾后积极自救、恢复生产。

浙江省气候中心基于茶叶处于不同开采期的最低气温风险评估结果设计了精细化到乡镇级别的茶叶霜冻指数保险。2021年，浙江省气候中心又结合当地农险实际需求，深化技术研发，设计了“茶叶综合气象指数保险”，与此前仅面向单一灾种的茶叶指数保险相比，综合指数保险产品覆盖了茶叶生产过程中容易遭受的多种灾害（高温热害、低温灾害及干旱），可为茶农抵御气象灾害风险提供更有利的支撑。茶农可根据自身需求，定制化的自主选择投保方案，且每亩最高保额可达4000元，该险种一经投放到农险市场，即受到了广大茶农的欢迎，推广应用成效显著。

2.4.2.2 广东省天气指数保险产品

巨灾保险是指对因发生地震、洪水、海啸、飓风

① 中国普惠金融研究院课题组. 发展农业气象指数保险, 优化农村金融服务体系调研报告. 2021年12月。

② https://business.sohu.com/a/509909968_121123887, 2021-12-19。

等自然灾害,可能造成巨大财产损失和严重人员伤亡的风险,通过巨灾保险制度分散风险^[76]。广东巨灾保险项目自2016年试点以来,以政府财政救灾资金为保障标的、依据气象指数作为计算赔款方式,是全国首创的省域巨灾保险制度的创新模式。2016—2021年,中国人保财险广东分公司承保巨灾指数保险项目累计保费收入6.65亿元,支付赔款6.34亿元。截止到2022年,广东全省(不含深圳)共有19个地市(佛山除外)开办了巨灾保险。2022年广东各地受持续“龙舟水”强降雨影响,全省多地触发暴雨指数巨灾赔付,并快速支付赔款,第一时间帮助地方政府救灾救助、灾后重建,有效纾解应急救灾资金短缺问题,提高政府救灾效率。

广东是渔业大省,2021年,阳江市政府引入了政策性对虾饲养天气指数保险制度,按照投保方法,当对虾饲养户所在区域的雨量、风速、气温等超过一定指数时,将触发保险理赔。以气象指标作为保险理赔的惟一依据,不但能够做到快速定损,还能够有效解决传统的水产养殖保险定损难、争议大的问题。2022年,珠海市实施了政策性淡水水产气象指数保险,该保险条款分别约定了对在保险期间内水产因遭受高温、低温、大风及暴雨而产生的保险责任,仅2022年上半年,珠海市金湾区淡水水产养殖承保面积达到7559.97亩(1亩 \approx 666.7 m²),为众多水产养殖企业及个体养殖户提供了有效保障。

3 天气衍生品

世界经济论坛(WEF)《2022年全球风险报告》指出,未来10年最严重的三大风险为气候行动失败、极端天气事件、生物多样性丧失与生态系统崩溃^[77]。天气衍生品是作为对冲天气风险而开发出的以天气指标为标的的金融衍生工具,是天气风险管理体系的重要组成部分^[78]。

3.1 天气衍生品的概念

天气衍生品是通过衍生合约对天气风险进行分割、重组和交易的证券化产品,并能将企业和个人的天气风险转移到有决心和有管理能力的第三方以帮助他们规避天气风险^[79-80]。区别于传统金融衍生品,天气衍生品的交易对象是天气指数,是通过对冲特定区域出现的实际天气风险和合约中商定的天气风险的偏差,实现对天气风险的规避和转移。

3.2 天气衍生品的特点

3.2.1 天气衍生品的优势

天气衍生品作为管理天气风险的金融工具具有

客观性、公平性、有效性、灵活性以及流动性等特征^[15],具体体现如下。

第一,制定天气衍生品合约是根据气象部门提供的气象观测数据,如温度、降水量、湿度、降雪量、风力等数据,这些数据都是科学、客观、较易获取且具有时间序列长等特点,可以满足天气衍生品合约制定的需要。

第二,天气衍生品的赔付是基于天气指数,如降水量、温度、降雪量、风力级别或风速及其出现的频次等,这与天气指数保险产品类似,但不同于传统的天气保险,传统的天气保险赔付是基于已证明的实际损失。

第三,可以依据交易者自身需求灵活开展天气衍生品场外交易和场内交易,其实施、管理的成本远低于天气保险查勘定损及理赔的成本。

第四,天气衍生品扩大了天气风险分散和转移的范围^[81]。除种植业以外,还涵盖了能源业、建筑业、交通业、餐饮业、保险及再保险业等行业。同样,由于金融市场扩大的规模和效率及其高风险敏感性等特点,也吸引了更多的社会投资、基金等金融机构的加入,引导了大批的社会资本参与转移或稀释天气风险,把天气风险分散给更有能力或意愿承担风险的企业^[13, 82]。

3.2.2 天气衍生品的局限

首先,应用天气衍生品存在的主要问题是基差风险和信用风险。目前,天气衍生品合约一般是采用场内交易,所以基差风险仍是主要风险^[83],即由于分地区小气候等造成基于天气数据计算的赔款与被保险人的实际损失程度有偏差。

其次,天气衍生品合约确定的补偿是依据天气事件而非实际损失,购买者获得的补偿只是依据实际损失与天气变化的相关程度,所以有时会出现天气衍生品收益不足以弥补损失或者补偿超过损失的情况^[16]。

第三,迄今为止,市场上还没有一个统一的天气衍生品定价模型,由于天气衍生品与传统的金融衍生品仍存在一定差异^[2, 16],故传统的金融定价模型并不适用于天气衍生品。

3.3 天气衍生品的发展

3.3.1 国外天气衍生品的发展

天气衍生品市场的诞生源于美国20世纪90年代对于能源行业的自由化改革^[84]。天气状况的改变是影响能源消耗的关键因素之一,当能源领域从垄断改变为自由竞争之后,市场的不确定性就变成了左右能源价

格稳定性的最直接原因，并使更多的能源公司明显地感觉到了市场自由竞争所产生的影响。虽然美国对能源市场的解禁导致了该领域的运行环境更为合理，但同时也增加了市场的定价压力^[78]。1997—1998年厄尔尼诺事件造成的暖冬使得许多企业获利减少，也吸引了更多公司开始关注气候问题。为了规避非预期天气条件变化给企业运营带来的不利影响，1997年美国安然(Enron)公司与美国科氏(Koch)工业签订了世界上第一笔天气衍生合同^[5]。这笔交易是在场外市场上完成的，旨在保护特定地区内冬季里温度超过往年平均气温、夏季里温度低于往年平均气温的特殊情况下造成的损失^[85]。从某种意义上说，天气衍生品是资本市场和保险市场结合的产物。

随着天气衍生品市场的不断发展，为降低交易费用且便于操作，天气衍生品合同也逐步发展成了具备固定格式和明确内容的标准化合约。1998年后，在欧盟和亚太地区又相继出现了天气衍生品交易市场。当时的交易模式一直为场外交易，由买卖双方通过经纪人进行交易。直到1999年，芝加哥商品交易所(CME)才开始把天气衍生产品带入场内进行交易，推出了四个城市取暖指数(Heating Degree Days, HDD)和制冷指数(Cooling Degree Days, CDD)现货和期货期权合约^[3, 5]。在2001年，伦敦市国际财政期货交易所(LIFFE)发行了伦敦、巴黎和柏林各城市的每日天气汇编指数合约，并使用其电子商务平台LIFFE Connect完成交易。尽管这种场内交易的最初尝试都以失败收场，但也标志着天气衍生品开始进入场内交易阶段。同时，也正是因为这种最初的尝试，才会有现在CME天气交易指数的迅速发展。2006年，CME的天气合约成交量达到80万手，合约总额也达到了210亿美元^[5]。

随着资本市场与保险市场的结合，投资在天气风险相关产品上的可观收入吸引了更多的资本，包括银行、保险公司和对冲基金，他们都在寻找可以分散投资组合又可以提高收益的方法，这有力地促进了天气衍生品流动性的提高^[7]。与此同时，当今社会对管理天气风险的需求逐渐从能源行业延伸到了其他领域，对冲资金不断涌入市场。成立于1999年的天气风险管理协会(Weather Risk Management Association, WRMA)有力地推动了天气衍生品的发展，该协会的任务主要包括制定天气衍生品的标准化合约和其他便于交易的法律文件，调研该行业的发展情况和存在问题等^[15]。

近年来，国际天气衍生品发展较快，CME天气

衍生品的交易量呈现上升趋势。2020年，天气期货和天气期权合约名义持仓金额分别为7.5亿美元和4.8亿美元；2020年9月是过去两年多来交易量最高的月份(图1)，日均交易量超过1000份；截至2020年12月，持仓量超过29000份，同比增长175%。美国商品期货交易委员会(CFTC)气候相关市场风险咨询委员会(MRAC)指出，交易量上涨主要是利用天气衍生品市场管理气候相关风险的需求快速增长所致。

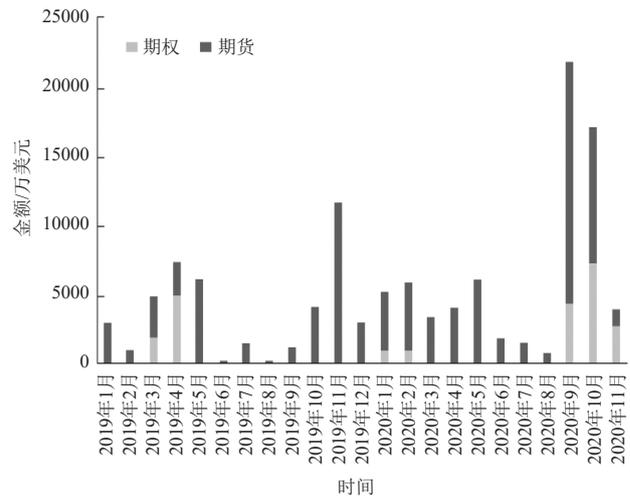


图1 CME天气期货和期权每月交易量(数据来源: CME Group)

Fig. 1 Monthly trading volume of CME weather futures and options (From: CME Group)

随着天气风险对经济发展的影响日益凸显，公司的风控部门开始从一个新的视角审视过去那些无法被保险公司受理的风险，天气风险管理已成为企业风控的重要组成部分^[86]。目前，天气衍生品的交易产品已涵盖了几乎全部的气候变量，时间跨度从一周到几年，交易额也从数千美元到上亿美元。天气衍生品交易市场的繁荣发展，不仅表现在能够对冲的天气风险品种越来越丰富，同时，也有更多来自各地的企业参与到这种金融市场的交易中来。虽然美国的市场参与者还是占大多数，但随着各国经济的迅速发展，越来越多的其他国家，包括英国、法国、德国、澳大利亚、挪威、瑞典、墨西哥、日本等都陆续引入天气衍生品进行交易^[87]。

3.3.2 国内天气衍生品的发展

气象灾害造成我国直接经济损失约占GDP的1%~3%，据预测，未来这一比例将上升至2%~8%，约为全球平均水平的8倍。根据美国Weather Bill公司公布的一项数据显示，我国有超过一半的人口居住在具有一定天气风险的地区，且我国经济因天气风险而

造成的损失每年接近2000亿元^①，所以，发展天气衍生品市场对保障我国经济社会良性发展有重要意义。

我国目前场内还未正式推出标准化的天气衍生品，场外也缺乏天气衍生品的交易实例，天气衍生品尚处于研发阶段^[88]。近年来，国内学者在关注天气衍生品的同时，也着重于天气期货的理论和实践研究。于力介绍了天气风险管理的基本理论，特别介绍了CME和LIFFE两个期货交易所的期货产品^[89]。李国华翻译的Eric Banks的《天气风险管理》一书较为完整的阐述了天气风险管理领域的现状、应用技术、管理方法、相关法规以及财务问题等，是目前我国有关天气风险管理领域较早且比较完善的一本译著^[24, 90]，具有很强的代表性。迄今为止，国内已有的研究主要集中在天气衍生产品的作用机理和特点、天气衍生品在特定领域（农业、能源等）管理天气风险的优势及方式、天气衍生品的设计与开发、天气衍生品的建模及定价研究^[53, 91-100]。

从2002年开始，大连商品交易所（以下简称“大商所”）开始对天气衍生品展开全领域的探索和研究，包括理论知识的培训和对现实需求的考察和测试。同年，大商所与国家气象中心签订了一项长期的合作协议，大商所选取了国内80余个大中型城市和有气候代表性的城市作为主要研究对象，从多方位、全角度挖掘天气衍生品在我国的可行性，研究了在我国不同的农业产区，不同的人口数量和密度条件下，对电力能源和天然气的需求量变化情况；同时，了解这80多个城市降雨量及气温变化的特征及特大自然灾害发生情况等，为天气期货合约的设计提供了可靠的科学参考。2006年，大商所还和东京金融期货交易所签订了合作谅解备忘录，双方共同开发天气衍生品市场，但目前尚未开展标准化的天气衍生品交易^[101]。2012年11月，香港特区政府和香港证券交易所也开始就建立天气衍生品市场的可能性展开调研，同时根据各地的天气特征，研究了开发基于不同天气指标衍生品的可行性进行，并准备适时推出相关产品^[86]。2014年8月，国务院出台《关于加快发展现代保险服务业的若干意见》，提出“将保险纳入灾害事故防范救助体系，探索天气指数等新兴产品和服务”等，从保障社会民生的战略高度确定了天气衍生品的地位^[102]。2021年7月，河南省遭遇极端强降雨，郑州市多个国家级气象观测站日降雨量突破有气象记录以来历史极值，超强暴雨让极端天气的危害再次引发关注。越来越多的国内学

者意识到发展天气衍生品有助于提升我国天气风险管理水平。同年，大商所与国家气象中心续签战略合作协议，聚焦积温、降水等主要作物产量预报指数的设计和衍生品开发^[103-104]；国家气象信息中心与郑州商品交易所（以下简称“郑商所”）签署战略合作框架协议，联合开展天气指数期货等天气衍生品的可行性论证、品种设计、意见征求及上市等研究工作^[105]。

由于起步较晚，我国在天气衍生品上尚为空白，衍生品市场仅有不足30年的历史，目前共有四家期货交易所，它们分别是：上海期货交易所、大连商品交易所、郑州商品交易所以及中国金融期货交易所（以下简称“中金”）^[106]。其中前三家主要从事商品期货交易，比如黄金、大豆、白糖等，而中金所将承接股指期货等金融期货的交易^[106]。另一方面，我国自古以来都是一个农业大国，农业生产存在着较大的天气风险，为了让农民收入保持一个较为稳定的增长速度，不仅需要通过农产品期货来规避价格波动带来的风险，还应积极研究天气衍生品，在遇到不利天气条件时，可以规避掉农作物在产量方面的风险。天气衍生品种类越多，为农业生产经营者提供的天气风险管理工具就更为丰富，农业保险公司可以通过市场化的途径转移天气风险，这样，农业保险公司可以不用完全依赖国家财政而是通过市场化的方式，规避自身的风险^[107-108]。

3.4 天气衍生品典型案例

由于国内目前尚未推出比较成熟的天气衍生品，本节仅通过埃塞俄比亚农作物降雨期权合约对天气衍生品做简要介绍，表3为该期权合约细节。

表3 埃塞俄比亚农作物降雨期权合约^[109]
Table 3 Ethiopian crop rainfall option contract

指数形式	累计降雨期权
合约期限	3~10个月
合约类型	看涨期权
标的指数	水分胁迫指数
保费	93万美元

如果农作物的水分胁迫指数超过了约定水平，则表示这个时期天气是干旱的，世界粮食计划署就会选择行权，因为通过这个方法可以做到资金尽快到位，便于世界粮食计划署及时提供援助；但如果农作物的水份胁迫指数低于约定水平，则说明这个时期天气并不是干旱的，世界粮食计划署就会放弃行权。2006年由于埃塞俄比亚的降水量已经超过了历史平均水平，

① <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1703788412113031418&wfr=spider&for=pc>, 2021-06-28。

② <https://jingyan.baidu.com/article/ca00d56c2a1e56a89febcbf56.html>, 2022-12-06。

因此世界粮食计划署并没有选择行权^[85]。

4 天气风险管理产品关键技术研发

4.1 灾害风险评估

灾害风险评估是指对灾害或损失的可能性评价，是灾害风险管理的核心内容。在城市规划、城镇建设、重大工程建设以及工农业生产和人民群众生活中，都需要进行灾害风险评估，预期达到灾害损失最小的目的。风险评估可以是定性或定量的，通常使用定性化描述，如“高”“中”“低”，这是基于风险的不可预测性以及难以量化的特征。

作为天气风险管理产品设计的一个关键步骤，推荐采用风险评估流程，通过对某地区天气风险的科学调查，并通过其他调研的方式收集该地的相关信息，以补充任何可用的定量数据。值得注意的是，经历过以往极端事件的当地利益相关者往往清楚地了解该地区的家庭和企业是如何受到影响的，并经常评估其社区在未来灾难性事件中的脆弱程度。风险评估确定了影响作物、农场和企业等的主要风险，并系统地开发了表征风险的模型。通常，通过量化三个主要变量，即表征风险的三个重要特性来评估风险及其影响：危险性、脆弱性和暴露性。危险性是考虑风险类型的分类，例如天气、价格、害虫、政策或市场。脆弱性是考虑了当前管理水平的能力下对受影响的资产给予的已发生风险的影响估计。暴露性是识别出来的对可能直接受到危害影响的农作物、牲畜和农场区域，及由于供应链中的相互依赖性导致的其他方的间接风险。这种风险评估过程涉及许多假设和变量的使用，因此越来越多地使用风险建模作为一种工具。

4.2 产量损失评估

在天气指数农业保险设计过程中，天气指数和作物灾害损失定量关系模型的构建是难点问题，也是核心问题。虽然天气指数保险的理赔过程中气象指数与理赔金额直接相关，但是天气指数保险依然是一种产量保险。在设计天气指数保险产品时，首先构建模型测算气象指数与农作物产量的对应关系，然后测定气象指数对应的农作物产量损失价值，最后换算出理赔金额。因此，农作物产量是非常重要的转化变量。

常见的灾损模型的构建主要基于统计模型、灾害试验和作物模型等方法。目前国内外的研究主要基于统计模型，但统计模型的构建需要长序列的气象、作物损失等配套完整的数据，因此经常存在数据不足和气候变量生物学意义不明确的问题，并且很难分离出特定阶段气象因子对作物生长和产量的影响。作物模型在模拟正常气候条件下的作物产量较为准确，但在

对极端天气对作物影响的模拟能力还比较有限。在农业气象学中，通常利用作物小于0的相对气象产量来表达作物的因灾减产率，即通过对气象数据的计算弥补作物产量或灾损数据的不足，这也是用气象解决天气指数农业保险产品设计的优势和关键技术之一。

4.3 纯费率评估

以农业保险为例，气象部门提供的气象信息，如当地各种气象灾害的出现频率，以及各种农作物的受灾频率和程度等，可以为设计具体险种和确定费率水平提供科学的基础数据。为使保险价格可持续，保险从业人员必须准确地估计保险单的预期赔付价值，也称为纯费率（pure premium）或纯风险（pure risk）。为了做到这一点，首先对覆盖期内的历史天气数据拟合一个概率分布，用概率来描述事件的可能频率和严重程度。概率分布有时可以用一个已知的分布来估计，例如高斯分布，或者用天气观测的经验分布的核平滑程序来估计。纯费率是通过将概率分布乘以由合同阈值确定的赔付率，最后乘以保险金额得到的。因此，纯费率是投保期内天气事件分布的函数，支付开始和结束的指数的阈值和限制，以及所需的总覆盖量。需要注意的是，在估计概率分布时，从业者还必须评估历史数据的趋势和其他系统性变化，概率分布严重依赖于采用的数据所在的时间范围，在该时间点使用的历史数据可能会严重歪曲当前或未来的天气风险。

评估纯费率是保险产品设计的 key 一环，适合进行纯费率评估的数据源需考虑以下5个特征：1) 历史数据长度；2) 空间特异性；3) 时间特异性；4) 数据完整性；5) 数据有效性。

4.4 天气衍生品精算定价

在实践中，启动一项天气衍生品合约之前，会对天气衍生品进行精算定价。当气象预报不可得时，使用相应的精算定价方法计算得到的值称为票面值。启动合约之前获得的相关气象预报的时间，在美国是6个月，而在欧洲则是3个星期。精细化的气象预报改变了天气合约定价的方法，在这里，精细化的气象预报是指气象输出结果的范围缩小了，也改变了概率。当预报结果不够准确时，这种范围缩小就很微小，而预报结果很准确时，这种范围缩小很明显。

基于气象预报定价最简单的例子是当预报能够覆盖合约涉及的整个时间段时，这类合约即可依据预报结果来定价。然而，在大多数案例中，气象预报结果不能覆盖整个合约期，因此就需要综合考虑历史数据和预报结果。一般情况下，气象从业者倾向于分开提供天气预报和季节预报结果，而这两者在格式上存在

较大差异，它们通常出自完全不同的来源。如，天气预报结果通常是以日度数据的形式给出，而季节预报的结果更多地是通过月度数据展示。尝试将这些预报结果合并为在所有的的时间尺度上单一连续的预报是天气衍生品精算定价必须解决的一个技术问题。通常，在讨论如何在定价模型中应用天气预报时往往优先考虑天气预报，然后会适当地讨论季节预报的使用，这个结果仅仅对在美国境内和日本部分范围的合约有影响。尽管我国的气象预报产品类型日益丰富、预报精度也不断提高，但是如何最大限度的发挥天气预报的功能便于开展天气衍生品精算定价仍是未来我国在发展天气衍生品过程中必须考虑的关键问题之一。

5 气象科技在天气风险管理中的作用

长期以来，我国政府一直把减轻自然灾害作为基本国策之一，因此，加强天气风险管理显得尤为重要，气象与天气风险管理有着密不可分的联系。气象事业是科技型、基础性、先导性社会公益事业。党的十八大以来，在以习近平同志为核心的党中央坚强领导下，各地区各有关部门不懈努力，推动我国气象事业发展取得显著成就^①。在全球气候变暖背景下，我国极端天气气候事件增多增强，统筹发展和安全对防范气象灾害重大风险的要求越来越高，人民群众美好生活对气象服务保障的需求越来越多样^②。

5.1 不断完善的气象观测网络为天气风险管理提供了坚实的数据基础

面向不同的行业需求、使用目的和客户群体，天气风险管理产品的设计和使用需要不断开发基于不同时空分辨率、不同尺度、不同气象要素、形式多样的服务产品，这就对我国气象观测网络的建设提出了更高的要求。我国综合气象观测能力达到世界先进水平：目前已建成近7万个地面站、216部雷达、7颗风云气象卫星组成的地-空-天一体化综合观测体系^③，2020年全面实现地面观测自动化，全国卫星遥感应用体系基本建成，为我国气象防灾减灾、应对气候变化和生态文明建设做出了重大贡献，显著提升了我国在气象领域的国际地位和话语权。

5.2 气象科技可以为天气风险管理提供不同时空尺度的天气预报信息

“十三五”期间，我国气象预报能力稳步提升：实现了从站点落区到数字格点的跨越，数值预报完成了从引进消化吸收到自主研发的重大转变。预报预测准

准确率稳步提升，特别是中短期重大灾害性、关键性、转折性天气过程预报准确率逐年提高^[110]。目前，我国24小时晴雨预报准确率为85.9%，且客观化汛期降水预测准确率突破80分。同时，已建成覆盖全球的气象要素网格预报产品体系，初步建立了短时到延伸期的无缝隙智能网格预报业务体系，空间分辨率达到5 km、时间分辨率达1~3 h^④。精度日益提高的天气预报产品不仅大大地提升了气象灾害预报、预警的准确率，也为天气风险管理产品的研发和推广提供了越来越可靠的科技支撑。世界气象组织(WMO)指出，应对气候灾害的重要措施之一是建立多灾种的早期预警系统、加强气象预报。研究显示，世界上有1/3的人口，尤其是在最不发达国家和小岛屿发展中国家，仍然无法获得早期预警系统提供的预警信息。为此，联合国和世界气象组织于2022年3月共同宣布，将在未来5年内，推动实现早期预警服务的全民覆盖，应对日益极端的天气和气候变化。

5.3 气象科技可以为天气风险管理提供多元化的信息服务产品

在逐步完善的气象观测网络和天气预报技术的支持下，气象部门可以为天气风险管理提供越来越多元化的、具有重要参考意义的气象信息服务产品，这些服务产品大致可以分为两类。

一类是传统的气象信息服务产品，主要包括：天气预报产品、气候产品、农业气象产品、气象指数产品。其中，基于权威气象数据研发的气象指数类产品及后续衍生品，不仅在气象灾害预报、预警、农业天气指数保险推广应用中大受欢迎，也在助力落实国家应对气候变化战略部署、推动能源气象服务体系建设 and 能源绿色低碳转型，帮助能源行业更加准确把握资源状况、规避投资和生产风险方面起到积极的推动作用，破解了“靠天吃饭”的不稳定难题。

另一类是根据用户需求提供的定制化的气象信息服务产品。近年来，随着各行各业对气象信息的需求日趋丰富，气象部门可以根据用户的需求对气象信息进行加工处理，从而形成满足客户所需的定制化的气象信息服务产品。气象服务精细化多模式集成预报服务产品(简称OCF)基于多个全球数值模式预报，采取地形空间降尺度、趋势拟合时间降尺度、模式误差滚动订正、动态权重集成、主客观融合，建立的国内首个直接对外服务的基于位置的全球任意点客观精细

① <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1732020836456130123&wfr=spider&for=pc>, 2022-05-06.

② <http://dangjian.people.com.cn/n1/2022/0905/c117092-32519354.html>, 2022-09-05.

③ http://www.gov.cn/xinwen/2021-01/20/content_5581210.htm, 2021-01-20.

④ http://www.gov.cn/xinwen/2020-04/30/content_5507633.htm, 2020-04-30.

化预报服务产品,可满足公众、能源、交通、电力、旅游、海岛、机场等行业的个性服务需求。联合国粮农组织建议各国采取多灾种、跨部门的系统性风险管理方法,应对灾害风险。卫星技术和信息技术在灾害监测领域获得广泛应用,包括遥感、无人机和搜救机器人等新型工具及技术可在防灾减灾救灾工作中发挥更大作用。综上所述,研发天气风险管理产品,提供有效的天气避险工具,有助于提升市场资源配置效率,强化行业发展的展性和韧性^①。正因为气象与商业、农业、能源、旅游等各个行业密不可分的联系,更应促进气象部门与不同行业的深化合作,开发专业化的天气风险管理产品,为各行各业有效规避天气风险及良性发展赋能。

参考文献

- [1] 姚梦婷. 我国天气期货产品设计及其应用研究-基于天气影响指数的构建. 上海: 上海师范大学, 2020.
- [2] 马瑞芳. 基于O-U模型的天气衍生品定价研究. 太原: 山西财经大学, 2013.
- [3] 祖晓青. 对天气风险进行管理的措施探讨. 金融经济(下半月), 2006, (2): 3-3.
- [4] 陈信华. 天气敏感性分析与气候衍生品开发. 上海金融, 2019, (11): 20-23.
- [5] 秦大河. 影响我国的主要气象灾害及其发展态势. 见: 中国灾害防御协会. 防灾减灾文集. 北京: 新华出版社, 2007.
- [6] 邢学艳. 天气风险与天气类衍生品. 经济师, 2007, (8): 55-56.
- [7] 胡爱军, 祝燕德, 熊一鹏, 等. 论非灾难性天气风险管理. 金融经济, 2007, (2): 110-111.
- [8] 陈海燕, 雷小途, 潘劲松, 等. 气象灾害风险评估业务发展研究. 气象科技进展, 2018, 8(4): 15-21.
- [9] 裴洁. 我国应对天气风险的保险对策研究. 保定: 河北大学, 2011.
- [10] 施方. 巨灾保险证券化的探讨. 上海大学学报(社会科学版), 2004, 11(1): 55-58.
- [11] 王梓安. 天气保险及其在我国的应用前景研究. 沈阳: 辽宁大学, 2016.
- [12] 田颖楠. 温度指数期货合约产品设计——以京津冀区域气温数据为例. 大连: 大连理工大学, 2021.
- [13] 张炳炜. 天气衍生品定价研究及实证分析. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [14] World Bank. Weather Index Insurance for Agriculture: Guidance for Development Practitioners. World Bank, 2011.
- [15] 王培. 我国气温指数衍生品定价的实验研究. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [16] 李慧敏. 基于PDE方法的天气衍生品定价. 郑州: 华北水利水电大学, 2018.
- [17] 胡蓉. 天气风险管理及其在我国的应用前景分析. 上海: 上海大学, 2007.
- [18] 鲁亮涛. 基于降雨指数天气衍生品的建模和定价研究. 郑州: 华北水利水电大学, 2016.
- [19] 梁昊然. 论我国巨灾保险证券化制度构建. 求索, 2013, (2): 190-192.
- [20] 祝燕德, 胡爱军, 何逸, 等. 天气衍生产品与天气风险管理. 气象软科学, 2008, (1): 94-105.
- [21] Yuriy B, Grzegorz M, Dalia S, et al. Weather risk management in the Weather-VaR approach. Assumptions of Value-at-Risk Modeling. Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 2020, 54(1): 31-48.
- [22] Roseman C A, Argrow B M. Weather hazard risk quantification for sUAS safety risk management. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2020, 37(7): 1251-1268.
- [23] 曾小艳. 农业天气风险管理的金融创新路径研究. 武汉: 武汉大学出版社, 2019.
- [24] 埃里克·班克斯. 天气风险管理——市场、产品和应用. 李国华, 译. 北京: 经济管理出版社, 2004.
- [25] 祝燕德, 胡爱军, 熊一鹏, 等. 经济发展与天气风险管理. 北京: 中国财政经济出版社, 2006.
- [26] 李程富, 罗玉中. 天气衍生品在气候风险管理中的应用. 经济视角, 2011, (7): 34-35.
- [27] 于宁宁, 陈盛伟. 天气指数保险国内外研究综述. 山东农业大学学报(社会科学版), 2009, 11(4): 65-69.
- [28] 侯茂章, 吴敏. 天气指数保险研究进展. 中南林业科技大学学报(社会科学版), 2015, 19(6): 37-42.
- [29] 成林, 方文松, 张志红, 等. 一种冬小麦干热风保险天气指数计算方法. 中国专利. CN201810548597.1, 2018-05-31.
- [30] 陈盛伟. 农业气象指数保险在发展中个国家的应用及在我国的探索. 保险研究, 2010, (3): 82-88.
- [31] 姜彤, 王艳君, 翟建青. 气象灾害风险评估技术指南. 北京: 气象出版社, 2018.
- [32] Enrico B, Erik C. Satellite data and machine learning for weather risk management and food security. Risk Analysis, 2017, 37(8): 1508-1521.
- [33] Jerry R. State of knowledge report-data requirements for the design of weather index insurance. Lexington: GlobalAgRisk, 2010: 1-51.
- [34] 朱平安, 郝蒙浩. 天气指数保险及其在农业灾害保险中的运用研究. 时代金融, 2013, (9): 83-84.
- [35] 程静. 农业旱灾风险管理的金融创新路径: 天气指数保险. 世界农业, 2013, (3): 60-64.
- [36] Hansen B, Pedersen Å, Peeters B, et al. Spatial heterogeneity in climate change effects decouples the long-term dynamics of wild reindeer populations in the high Arctic. Global Change Biology, 2019, 25(11): 3656-3668.
- [37] Janzen S A, Carter M R. After the drought: the impact of microinsurance on consumption smoothing and asset protection. American Journal of Agricultural Economics, 2019, 101(3): 651-671.
- [38] Dean K. Savings by and for the poor: a research review and agenda. Review of Income and Wealth, 2014, 60(1): 36-78.
- [39] Willemijn V, Tobias D, Robert F. Index insurances for grasslands-a review for Europe and North-America. Agricultural Systems, 2019, 168: 101-111.
- [40] Shawn C, Xavier G, Jeremy T, et al. Barriers to household risk management: evidence from India. American Economic Journal Applied Economics, 2013, 5(1): 104-135.
- [41] 虞国柱. 论中国及世界农业保险产品创新和服务创新趋势及其约束. 保险研究, 2014, (2): 14-21.
- [42] Skees J R. Challenges for use of index-based weather insurance in lower income countries. Agricultural Finance Review, 2008, 68: 197-217.
- [43] Leblois A, Quirion P. Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research challenges. Meteorological Applications, 2013, 20: 1-9.
- [44] Olivier M. Hedging in futures and options markets with basis risk. The Journal of Future Markets, 2002, 22: 59-72.
- [45] David Hatch, Iwan van Beurden, Eric W S. Functional safety in the life science industries. Pharmaceutical Engineering, 2008, 9: 1-8.
- [46] 范红丽, 刘玮. 天气指数保险在发展中国家中的应用及启示. 上海保险, 2015, (1): 9-14.
- [47] 鞠海彦. 从太空获得援助的农牧场. 世界科学, 2010, (5): 26-27.
- [48] 蹇筠. 乡村振兴战略下农业保险发展研究. 今日财富, 2021, (6): 23-24.
- [49] 刘丽. 自然灾害保险风险分析. 自然灾害学报, 2006, 15(1): 87-91.
- [50] 邢鹏, 高涛, 吕开宇, 等. 北京市蔬菜作物生产风险区划研究. 中国农业资源与区划, 2008, 29(6): 55-60.
- [51] 虞国柱, 丁少群. 论农作物保险区划及其理论依据——农作物保险区划研究之一. 当代经济科学, 1994, (3): 64-69, 41.
- [52] 丁少群, 虞国柱. 农作物保险的险单位区划研究——农作物保险区划研究之二. 中国保险管理干部学院学报, 1994, (6): 24-29.

① https://www.sohu.com/a/471812409_99963284, 2021-06-12.

- [53] 虞国柱, 丁少群. 农作物保险风险分区和费率分区问题的探讨. 中国农村经济, 1994, (8): 43-48.
- [54] 刘长标. 农作物区域产量保险的精算研究. 北京: 中国人民大学, 2000.
- [55] 王丽红, 杨泊华, 田志宏, 等. 非参数核密度法厘定玉米区域产量保险费率研究——以河北安国市为例. 中国农业大学学报, 2007, 12(1): 90-94.
- [56] 陈泽育. 湖北省兴山县政策性烟叶保险补贴水平测算. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [57] 王克. 农作物单产分布对农业保险费率厘定的影响. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- [58] 梁来存. 核密度法厘定我国粮食保险纯费率的实证研究. 南京农业大学学报(社会科学版), 2009, 9(4): 28-33.
- [59] 娄伟平, 吴利红, 陈华江, 等. 柑橘气象指数保险合同费率厘定分析及设计. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1904-1911.
- [60] 丁少群. 农作物保险费率厘订问题的探讨. 西北农业大学学报, 1997, 25(1): 103-107.
- [61] 刘锐金. 湖北省县级水稻产量保险的费率厘定. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [62] 李文芳. 湖北水稻区域产量保险精算研究. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [63] 周玉淑, 邓国, 齐斌, 等. 中国粮食产量保险费率的订定方法和保险费率区划. 南京气象学院学报, 2003, 26(6): 807-813.
- [64] 郭迎春, 闫宜玲, 王春乙, 等. 农业自然风险评估及区域农业保险费率的确定方法. 应用气象学报, 1998, 9(2): 232-238.
- [65] Lou W, Sun S. Design of agricultural insurance policy for tea tree freezing damage in Zhejiang Province, China. *Theoretical Application Climatology*, 2013, 111: 713-728.
- [66] 吴利红, 娄伟平, 姚益平, 等. 水稻农业气象指数保险产品的设计——以浙江省为例. 中国农业科学, 2010, 43(23): 4942-4950.
- [67] 曲思邈, 王冬妮, 郭春明, 等. 玉米干旱天气指数保险产品的设计——以吉林省为例. 气象与环境学报, 2018, 34(2): 92-99.
- [68] 王月琴, 赵思健, 聂谦. 山西沁县谷子综合天气指数保险研究. 保险研究, 2019, (4): 15-26.
- [69] 梁来存. 巨灾准备金制度下粮食作物巨灾保险政府积累的测算. 广西财经学院学报, 2019, 36(2): 36-44.
- [70] 王月琴. 天气指数保险空间基差风险的量化评估研究. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [71] 于宁宁, 陈盛伟. 气象指数保险在发展中国家的实践与启示. 新疆农垦经济, 2011, (1): 12-18.
- [72] 于宁宁. 农业气象指数保险研究. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [73] Barnett B J, Mahul O. Weather index insurance for agriculture and rural areas in low-income countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 2007, 89(5): 1241-1247.
- [74] 王野田, 李琼, 单言, 等. 印度农业再保险体系运行模式及其启示. 保险研究, 2019, (1): 22-34.
- [75] 联合国粮食及农业组织. 2018年农产品市场状况: 农产品贸易、气候变化和粮食安全. 罗马, 2018.
- [76] 徐菊艳, 邓吉硕, 孙宁. 露天采矿业推广天气指数保险可行性分析. 合作经济与科技, 2021, (6): 56-58.
- [77] 王倩, 刘现荣, 贺倩, 等. 迈向自然受益的未来: 三大系统转型的中国机遇与路径. 可持续发展经济导刊, 2022, (1): 98-101.
- [78] 杨宇. 天气衍生品在我国的可行性研究. 中国经贸导刊, 2021, (2): 129-130.
- [79] 谢世清, 梅云云. 天气衍生品的运作机制与精算定价. 财经理论与实践, 2011, (6): 39-43.
- [80] 蔡丽平. 我国降雨指数期权的开发与设计. 成都: 西南财经大学, 2007.
- [81] 尹晨, 许晓茵. 论天气衍生产品与农业风险管理. 财经理论与实践, 2007, 28(1): 47-50.
- [82] Ivana Š. Effectiveness of weather derivatives as a risk management tool in food retail: the case of Croatia. *International Journal Financial Studies*, 2017, 5(1): 2, <https://doi.org/10.3390/ijfs5010002>.
- [83] 孙保敬. 农业天气衍生品定价及对冲天气风险的效果研究. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.
- [84] George W B, Klaus B T. How firms should hedge. *Review of Financial Studies*, 2002, 15: 1283-1324.
- [85] 王勇. 冰雪天灾催生我国天气金融衍生品市场. 征信, 2008, 26(3): 78-81.
- [86] 张书杰. 天气期权定价研究. 成都: 西南财经大学, 2013.
- [87] 李程富, 罗玉中. 天气衍生品在气候风险管理中的应用. 经济视角, 2011, (7): 34-35.
- [88] 彭龙, 孙小丽. 天气衍生品中的制冷指数看涨期权定价研究与实证. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2013, 15(1): 87-90.
- [89] 于力. 天气风险管理与天气期货. 期货日报, 郑州, 2003-08-01: 第4版.
- [90] 封朝议. 我国企业天气风险管理研究. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- [91] 余沪蓉, 姚从容. 天气衍生产品及在我国的应用前景展望. 生态经济, 2005, (4): 74-76.
- [92] 刘元元. 天气类衍生产品与金融衍生工具功能的再认识. 国际金融研究, 2005, (8): 53-56.
- [93] 齐绍洲, 凌棱. 美国天气衍生金融工具模型及其应用. 证券市场导报, 2003, (11): 25-29.
- [94] 李黎, 张羽. 农业自然风险的金融管理: 天气衍生品的兴起. 证券市场导报, 2006, (3): 49-53.
- [95] 蔡丽平. 我国降雨指数期权的开发与设计. 成都: 西南财经大学, 2007.
- [96] 姜慧勤. 基于降雨指数的天气衍生品的开发与定价. 南京: 南京信息工程大学, 2013.
- [97] 刘国光. 天气预测与天气衍生产品定价研究. 预测, 2006, 25(6): 28-33.
- [98] 范宇翔. 基于降雨指数的天气衍生品研究——以南京市为例. 成都: 西南财经大学, 2015.
- [99] 邹楚瑜. 天气衍生品空间基差风险量化及对冲效果研究——以山西省为例. 华北金融, 2020, (10): 66-76.
- [100] 钱利明. 天气衍生品定价及在我国的应用. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [101] 陈百硕. 天气衍生品中气温时变均值回复预测模型与实证研究. 南京: 东南大学, 2014.
- [102] 胡晓玲, 崔莹. 天气衍生品发展的国际经验借鉴. 金融纵横, 2022, (3): 63-70.
- [103] 崔海蓉, 曹广喜, 张京波. 高温天气衍生品设计及其定价模型——以长江中下游地区水稻为例. 系统工程, 2017, 35(4): 79-84.
- [104] 孙礼辉. 农户天气风险防范行为研究. 咸阳: 西北农林科技大学, 2010.
- [105] 胡晓玲, 崔莹. 天气衍生品发展的国际经验借鉴. 金融纵横, 2022, (3): 443-49.
- [106] 王舒文. 国内天气期货的合约设计及应用. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [107] 姜天奕. 民航运输业中的天气风险管理. 中国航班, 2019, (10): 140-141.
- [108] Monika W K. Weather risk management in energy sector: the polish case. *Energies*, 2020, 13: 945, doi: 10.3390/en13040945.
- [109] 马磊. 降雨指数衍生品合约设计及对农业天气风险的适用性研究. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [110] 王云. 气象在生态文明建设中的作用研究. 环境与发展, 2016, 28(4): 88-92.